

*Application for*  
**UNITED STATES LETTERS PATENT**

*of*

**KAN YASUI**

**SOUICHI KATAGIRI**

**MASAYUKI NAGASAWA**

**UI YAMAGUCHI**

*and*

**YOSHIO KAWAMURA**

*for*

**PLANARIZING METHOD OF SEMICONDUCTOR  
WAFER AND APPARATUS THEREOF**

1. *Chlorophyll* *a* and *b* contents were determined by the method of Arar and Johnson (1977).

## 半導體 W/E 平坦化加工方法

上記請求項 7 のポリアクリル酸アンモニウムの濃度が、0.05 重量%から 5 重量%であることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 9】

上記請求項 7 のポリアクリル酸アンモニウムの分子量が、100 から 20 万の範囲にあることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】

上記請求項 1 の砥石を構成する砥粒として、酸化セリウム、酸化アルミニウム、シリカ、酸化ジルコニウム、酸化マンガン、酸化チタン、酸化マグネシウム、あるいはこれらの混合物を用いることを特徴とする請求項 1 から請求項 9 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 11】

砥粒と、前記砥粒を結合、保持するための物質から構成される砥石を用い、分散剤を添加した加工液を前記砥石の表面に供給して、少なくとも 2 種の異なる薄膜が加工時間の一部または全部において露出する半導体ウエハ表面を研磨する半導体ウエハ平坦化加工装置。

【発明の詳細な説明】

~~100011~~  
BACKGROUND OF THE INVENTION

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置の製造工程で用いられる研磨によるウエハ表面パターンの平坦化技術において、平坦性、均一性に優れ高能率で加工マージンの大きい加工を行うため、研磨加工具として砥石と添加剤入りの加工液を用いた平坦化加工方法及び装置に関する。

~~100021~~

【従来の技術】

半導体製造工程は多くのプロセス処理工程からなるが、研磨によるウエハ平坦化が必要な工程として、配線工程と、浅溝素子分離工程について図 2 から図 5 を用いて説明する。

【0003】

まず配線工程について述べる。図2<sup>A</sup>(a)は一層目の配線が形成されているウエハの断面図を示す。トランジスタが形成されているウエハ基板1の表面には絶縁膜2が形成されており、その上にアルミニウム等の配線層3が設けられている。トランジスタとの接合をとるために絶縁膜2にホールが開けられているので、配線層のその部分3'は多少へこんでいる。図2<sup>B</sup>(b)に示す二層目の配線工程では、一層目の上に絶縁膜4、金属アルミ層5を形成し、さらに、このアルミ層を配線パターン化するために露光用ホトレジスト層6を付着する。次に図2<sup>C</sup>(c)に示すようにステッパ7を用いて配線パターンを上記ホトレジスト6上に露光転写する。このとき、ホトレジスト層6の表面の凹部と凸部8の段差によっては両者に同時に焦点が合わないことになり、解像不良という重大な障害となる。

【0004】

上記の不具合を解消するため、後に述べるウエハ表面の平坦化加工を行う。図3<sup>A</sup>(a)の一層目の処理工程の次に、図3<sup>B</sup>(b)に示すように、絶縁層4を形成後、図中9のレベルまで平坦となるように後述する方法によって研磨加工により平坦化し、図3<sup>C</sup>(c)の状態を得る。その後金属アルミ層5とホトレジスト層6を形成し、図3<sup>D</sup>(d)のようにステッパで露光する。この状態ではレジスト表面が平坦であるので前記解像不良の問題は生じない。

【0005】

同様に、浅溝素子分離工程について図4<sup>A</sup>(a)図5<sup>C</sup>(c)を用いて説明する。浅溝素子分離はシリコン基板の浅溝に絶縁膜を埋めこむことで基板上の素子間の絶縁を行うことを目的とする。図4<sup>A</sup>(a)は薄い熱酸化膜44と窒化珪素膜41を堆積した後、ドライエッチングにより上部の膜と共に下地のシリコン基板まで浅溝40を形成した段階である。その後図4<sup>B</sup>(b)に示すようにCVD法により絶縁膜2を溝内に埋めこむ。続いて図4<sup>C</sup>(c)に示すようにホトレジスト層6を設ける。これを、先の浅溝を形成したマスクのポジとネガを反転したマスク（反転マスク）によってリソグラフィを行い、図4<sup>D</sup>(d)に示すように溝部のみにホトレジスト6を残す。このホトレジスト6をマスクにドライエッチングによって絶縁膜2を所定の位置45まで除去すると図5<sup>A</sup>(a)に示す形となる。ここで後に示す平坦化研磨を

行い目標レベル9まで絶縁膜2を除去する。最終的に、窒化珪素膜41上の絶縁膜2が全て除去されるまで研磨を行うと、~~(f)~~<sup>図5B</sup>の状態になる。~~(f)~~<sup>図5B</sup>では窒化珪素膜41が完全に露出し、絶縁膜2は浅溝内のみに残っている。その後の工程で、窒化珪素膜41を除去した部分にトランジスタ42等の素子を形成する。これら素子の特性を劣化させないために、~~(e)~~<sup>図5A</sup>では窒化珪素膜41と浅溝内の絶縁膜2の残膜厚は非常に厳しい水準で管理する必要がある。この基準を満たすため、上記~~(b)~~<sup>図5B</sup>の段階で直接研磨を行わず、~~(c)~~<sup>図4C</sup> ~ ~~(e)~~<sup>図5A</sup>の研磨負荷を軽減する工程を追加している。

—{0006}—

次に、上述した工程に用いる平坦化加工方法を説明する。図6は最も一般的に用いられているCMP（化学機械研磨）加工法を示す。研磨パッド11を定盤上12に貼り付けて回転させる。この研磨パッドは、例えば発砲ウレタン樹脂を薄いシート状にスライスしたものである。他方、加工すべきウエハ1は弾性のあるバックングパッド13を介してウエハホルダ14に固定する。このウエハホルダ14を回転させながら研磨パッド11表面に荷重し、さらに研磨パッド11の上に砥粒を含む加工液である研磨スラリー15を供給してウエハ表面の絶縁膜4の凸部を平坦化する。

—{0007}—

上記CMP加工法に比べより平坦化性能に優れた加工技術として、特許出願PCT/JP95/01814に示される砥石を用いた平坦化技術がある。図1に、砥石を用いた平坦化加工方法を示す。基本的な装置の構成は上記の研磨パッドを用いるCMP（化学機械研磨）研磨技術と同様であるが、研磨パッドの代わりに回転する定盤12上に酸化セリウム等の砥粒を含む砥石16を取り付ける点が特徴である。また加工液18としてCMPで用いるフュームドシリカ等の代わりに、砥粒を含まない純水を供給するだけで加工が可能である。この方法はパターン段差を平坦化する能力に優れており、従来は困難であった幅数mm以上に渡る大きなパターンを完全に平坦化できる。砥粒の利用効率が低く高価な研磨スラリーの代わりに、砥粒の利用効率の高い砥石を用いることで加工コストも低下する。砥石の採用により懸念される研磨キズの発生は、一般的な砥石の砥粒に比べ一桁

以上も微細な砥粒を用いることで、肉眼では観察不可能なほど微小な研磨キズでさえ防止できる。具体的には平均粒径が $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ で、最大粒径が $2 \mu\text{m}$ 、好ましくは $1 \mu\text{m}$ 以下に全数の99%の砥粒が含まれる超微細砥粒を用いる。砥粒の微細化により研磨レートが低下する場合があるが、特開2000-173955に示される添加剤の併用を行えば、砥石から積極的に砥粒を遊離させて研磨レートを向上することができる。

~~【0008】~~

~~【発明が解決しようとする課題】~~

先に記述したCMP加工法および砥石を用いた加工法の課題について、順に説明する。

~~【0009】~~

まずCMP（化学機械研磨）加工法では、研磨パッドの弾性率が低いために平坦化の能力が不足している。研磨パッドは加工時にウエハ表面の凸部のみだけでなく凹部にも接触、荷重するため、平坦化可能なパターンの最大サイズは幅数mmまでであり、DRAM等に見られるcmオーダーのパターンを十分に平坦化することは難しい。同様の理由で浅溝素子分離工程においても、柔らかい研磨パッドが浅溝中の絶縁膜を過剰に研磨除去する現象（ディッシング）が発生し、素子の特性を悪化させる。この対策として、反転マスクを用いてリソグラフィーを行い予め凸部をドライエッチング除去し、研磨の負荷を軽減するプロセスが一般的に採用されているが、工程が増加する上、未だ平坦化性能は十分でない。また、CMPに用いる研磨スラリは酸・アルカリを含む場合が多く取り扱いに特別の注意が必要であること、スラリ中の砥粒が飛散しやすくクリーンルーム内の異物増加を招きやすいこと、といった課題がある。

~~【0010】~~

上記CMPの課題を解決する方法として、研磨パッドとスラリに代えて砥石を用いる加工方法が提案された。砥石の弾性率は研磨パッドに比べ約一桁高いため、上記の平坦化性能不足の問題を解決できる。配線工程においてはcmオーダーの広い凸部を平坦化可能で、素子分離工程においては反転マスクを使用せずとも十分ディッシングの少ない加工が可能なほど平坦化性能が高い。またスラリを用

いないため取り扱いが容易でかつ砥粒の飛散による異物増加も抑制できる。しかし、砥石を用いた場合には逆に次に述べる課題が発生する。

#### ~~【0011】~~

砥石を用いた加工法の課題は、平坦化性能と均一性のトレードオフにある。一般に研磨パッドから砥石へと加工具の弾性率を高めるほど凸部を平坦化する性能は高まるが、逆にウエハ面内での加工量の均一性は悪化する。これは砥石の様に弾性率の高い加工具ほど微小な圧力差のある凸部を選択的に除去する性質があり、基板の微小な凹凸や加工時の加圧力の不均一の影響を受けやすいためである。

#### ~~【0012】~~

以上に挙げたようにCMPにおいては平坦化性能の不足が、砥石を用いた加工法では均一性の不足が、各々解決されていない。

#### ~~【0013】~~

さらに共通の課題として、浅溝素子分離工程の加工終了時の加工マージン不足がある。図4<sup>A05</sup>、図5<sup>C75</sup>に示す浅溝素子分離工程では、非常にデリケートな素子形成領域を保護する窒化膜41の残膜厚と、素子分離用の浅溝40の残膜厚を精度良く制御する必要がある。加工が不充分であると、窒化膜上の絶縁膜残りや、浅溝から突き出た余剰の絶縁膜が素子特性を悪化させる。加工過剰の場合には素子形成領域の破壊や浅溝素子分離部の絶縁不良が発生する。理想的には窒化膜40の表面がウエハ上のあらゆる場所で完全に露出した時点で研磨を終了したい。しかし現実にはウエハ全面で適度な研磨量となる時間は短く、何らかの手段による終点の検出も容易ではない。この課題の解決を目的として特開平9-208933に示された技術として、CMP技術において窒化珪素微粉末と酸を研磨剤とし、二酸化珪素膜と窒化珪素膜の研磨選択比を増加させる方法がある。しかし、CMP法の欠点として研磨パッドを用いるためパッドの弾性率が低く、高い平坦化性能を得られない点が課題として残る。例えば浅溝素子分離工程では、高選択比であっても、柔らかい研磨パッドは浅溝中央部により強く接触し、浅溝中央の被加工膜を過研磨するディッシングが避けられない。また酸を用いるため金属膜が存在する場合や、装置の腐食対策に注意が必要である。

#### ~~【0014】~~

発明の要旨

【課題を解決するための手段】

本発明は、

（以下に示す）

上記課題を解決するための手段として、砥石を用いたウエハ表面パターンの平坦化加工法において、分散剤を加工液に添加する。

【0015】

ここで適当な分散剤としては幾つかのタイプがあるが、最も効果的なものは、界面活性剤のように加工液と、砥粒や被加工物との界面に集中、作用するタイプである。この種の分散剤は砥粒と加工液との界面に集まり、電気的な反発力、あるいは分子形状からくる立体障害作用により砥粒同士の凝集を防止し、分散性を高める。また、親水基、疎水基の組み合わせによっては対象に選択的吸着し、選択的な作用をもたらす。界面に集中して存在するため微量の使用でも効果が得られる。ただし、通常の界面活性剤には半導体デバイスに影響を与えるナトリウム等のアルカリ金属を含むものが多く、これらは適さない。また、不純物として重金属を含むものも使用できない。さらに工場での量産に用いることから、安全性、環境への影響にも配慮したものであることが望ましい。上記の制約を満たし、かつ砥粒である無機酸化物微粒子の分散性が良好となる分散剤として、ポリカルボン酸塩に分類される分散剤が挙げられる。半導体への影響を考慮し、一般的なナトリウム塩ではなく、アンモニウム塩であるものが適している。特にポリカルボン酸の中でもポリアクリル酸アンモニウムが適している。

【0016】

分散剤として用いている

ポリアクリル酸アンモニウムが特に有効であるのは、原料砥粒が無機微粒子である砥石を用いる場合である。具体的には、酸化セリウム、酸化アルミニウム、シリカ、酸化ジルコニウム、酸化マンガン、酸化チタン、酸化マグネシウム、あるいはこれらの混合物からなる無機微粒子を砥粒とすると高い分散効果を持つため、高い研磨レートと高品質な加工面が得られる。また、ポリアクリル酸アンモニウムは窒化珪素膜と酸化珪素膜への付着性が異なり、結果として2種の被加工膜への加工レート選択比を向上させる。

【0017】

その他、砥粒を分散させる効果、または被加工膜に選択的に吸着する性質があれば本発明の分散剤として適用可能である。砥粒の表面電位を変化させる分散剤



は、各砥粒間に反発力を働かせ分散性を高める。同時に、被加工膜表面に分散剤が選択吸着することで膜種毎に表面電位（ゼータ電位が指標となる）を変化させ、加工選択比の変化をもたらす。加工液のpHをアルカリ性とすることは、膜表面と砥粒表面のゼータ電位を同極性とし反発力を働かせ、分散性を高める上で有効である。このためにアンモニアあるいはアンモニウム塩の添加は有効である。同様に、砥粒と加工液の界面に作用しゼータ電位を変化させる効果を持つ界面活性剤類は、本発明の分散剤として効果がある。

#### 【0018】

上記ポリアクリル酸アンモニウム以外にも、ポリアクリル酸アンモニウムが属するポリカルボン酸塩類は砥粒の分散や被加工膜への選択的吸着効果があり、本発明の分散剤に適する。特に、アクリル酸、マレイン酸をベースとしたポリカルボン酸塩は分散剤として効果を持つ。ポリカルボン酸塩以外には、ポリオキシエチレン誘導体、縮合燐酸塩、リグニンスルホン酸塩、芳香族スルホン酸塩ホルマリン縮合物や、アルキルアミンなどの分散剤も有効である。

#### 【0019】

上記分散剤の添加は、半導体用に特に微細な砥粒を原料とした砥石において顕著な効果がある。特に、砥石を構成する砥粒の平均粒径が $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ で、全数の内99%以上が最大粒径 $1 \mu\text{m}$ 以下であるものに効果がある。

#### 【0020】

なお、砥粒の粒径測定方法は、粒径が微細であることを考慮してレーザー散乱法および電子顕微鏡測定を用いる。レーザー散乱法は多数の粒子を測定するため統計誤差は少ないが、非球形の粒子や弱い凝集粒子について測定誤差が生じる。逆に電子顕微鏡測定は粒子形状や凝集による誤差は補正できるが、測定粒子数が少なく統計誤差を含む。本発明により効果が得られる砥粒の粒径は、電子顕微鏡測定では、粒子数平均の粒径が $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ で、99%以上の粒子が $1 \mu\text{m}$ 以下となる。なおこの時、粒子形状が球形でない場合は（最長径+最短径）／2を粒径と考える。レーザー散乱測定では、測定装置や試料の前処理に依存して凝集が発生する場合があります、その際には $1 \mu\text{m}$ 以上の粒子が多数存在するかのような結果が得られるため注意が必要になる。前処理に起因する凝集発生がなけれ

ば、レーザー散乱測定では、粒子数平均で $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、 $99.9\%$ 以上の粒子が $1 \mu\text{m}$ 以下である砥粒において本発明の効果が得られる。

~~【0021】~~

上記以外の砥粒でも、砥粒の硬度や加工対象の膜種と工程によって、粒径が異なる範囲のものを使用しても良い。粒子数平均の粒径が $0.05 \sim 0.5 \mu\text{m}$ であれば効果があり、好ましい範囲は $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ にある。また、最大粒径（ $99\%$ または $99.9\%$ の粒子の最大径）では凝集を除いて $2 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $1 \mu\text{m}$ 以下が良い。粒径の最小値には原理上の制限はないが、実用上は $0.001 \mu\text{m}$ 以上のものを用いる。

~~【0022】~~

~~「発明の実施の形態」~~

~~以下、本発明の実施例を説明する。装置の基本的構成を図1を用いて説明する。~~

~~。装置は、砥石16、砥石が接着され回転運動を行う研磨定盤12、ウエハホルダ14、加工液供給ユニット20からなる。砥石16、研磨定盤12は各々図示しないモーターにより回転運動を行う。ウエハ1はウエハホルダ14によって砥石16に対し表面を向けた状態で保持される。加工中のウエハは裏面を均等に加圧されて砥石16に押し当てられる。砥石16とウエハホルダ14は加工中回転運動を行うが、両者の回転数はほぼ等しくなるように設定されており、ウエハホルダ14に保持されているウエハ1はウエハ上の任意の点で砥石に対する相対速度がほぼ等しく、ウエハ全面が均一に研磨される。砥石を構成する砥粒は、研磨キズが発生しにくく高い研磨レートが得られること、分散剤の添加により選択比を向上させやすいこと、から酸化セリウムを選択した。~~

~~【0023】~~

~~加工液18として本発明では純水に分散剤を添加した液を用いる。加工液供給ユニット20において、純水と分散剤は純水供給口21と分散剤供給口22から各々供給され、攪拌器19により攪拌された後に、加工液供給口17を通して砥石16上に供給される。本実施例においては、分散剤は加工装置に備え付けの加工液供給ユニット中で純水と混合したが、あらかじめ分散剤を混合済みの加工液を使用してもよい。~~

グ、アッシング、洗浄等少なくとも7工程からなる)の削減による製造TAT、コストの低減が挙げられる。さらに、窒化珪素膜のようなストッパー膜との選択比が十分高いためにストッパー膜の膜厚を薄く設計可能となる。これにより、膜応力の大きい窒化膜のようなストッパー膜であってもこれを薄膜化することで、応力起因の欠陥を低減できる。また、平坦化性能不足を補うために広い面積部に配置されるタイルパターンのようなダミーパターンも不要となり、設計自由度が増大する。

## BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、

砥石を用いた平坦化加工法および本発明の実施例の説明図である。

【図2】

図2Aから図2Cは、

平坦化を行わない場合の配線工程の説明図である。

【図3】

図3Aから図3Dは、

平坦化を行う場合の配線工程の説明図である。

【図4】

図4Aから図4Dは、

従来技術を用いた浅溝素子分離工程の説明図（前半）である。

【図5】

図5Aから図5Cは、

従来技術を用いた浅溝素子分離工程の説明図（後半）である。

【図6】

図6は、

化学機械研磨法（CMP）を説明する図である。

【図7】

図7は、

実施例における分散剤の研磨レート向上効果を示す図である。

【図8】

図8は、

実施例における分散剤の選択比向上効果を示す図である。

【図9】

図9は、

実施例における分散剤の研磨量均一性向上効果を示す図である。

【図10】

図10Aから図10Dは、

本発明を適用して簡素化した浅溝素子分離工程の説明図である。

【図11】

図11Aから図11Bは、

分散剤の役割についての説明図である。

ば、レーザー散乱測定では、粒子数平均で $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、 $99.9\%$ 以上の粒子が $1 \mu\text{m}$ 以下である砥粒において本発明の効果が得られる。

~~[0021]~~

上記以外の砥粒でも、砥粒の硬度や加工対象の膜種と工程によって、粒径が異なる範囲のものを使用しても良い。粒子数平均の粒径が $0.05 \sim 0.5 \mu\text{m}$ であれば効果があり、好ましい範囲は $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$ にある。また、最大粒径（ $99\%$ または $99.9\%$ の粒子の最大径）では凝集を除いて $2 \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $1 \mu\text{m}$ 以下が良い。粒径の最小値には原理上の制限はないが、実用上は $0.01 \mu\text{m}$ 以上のものを用いる。

~~[0022]~~

## DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

~~本発明の実施の形態~~

以下、本発明の実施例を説明する。装置の基本的構成を図1を用いて説明する。

装置は、砥石16、砥石が接着され回転運動を行う研磨定盤12、ウエハホルダ14、加工液供給ユニット20からなる。砥石16、研磨定盤12は各々図示しないモーターにより回転運動を行う。ウエハ1はウエハホルダ14によって砥石16に対し表面を向けた状態で保持される。加工中のウエハは裏面を均等に加圧されて砥石16に押し当てられる。砥石16とウエハホルダ14は加工中回転運動を行うが、両者の回転数はほぼ等しくなるように設定されており、ウエハホルダ14に保持されているウエハ1はウエハ上の任意の点で砥石に対する相対速度がほぼ等しく、ウエハ全面が均一に研磨される。砥石を構成する砥粒は、研磨キズが発生しにくく高い研磨レートが得られること、分散剤の添加により選択比を向上させやすいこと、から酸化セリウムを選択した。

~~[0023]~~

加工液18として本発明では純水に分散剤を添加した液を用いる。加工液供給ユニット20において、純水と分散剤は純水供給口21と分散剤供給口22から各々供給され、攪拌器19により攪拌された後に、加工液供給口17を通して砥石16上に供給される。本実施例においては、分散剤は加工装置に備え付けの加工液供給ユニット中で純水と混合したが、あらかじめ分散剤を混合済みの加工液を使用してもよい。

~~{0024}~~

本実施例では、分散剤としてポリカルボン酸塩の中で特に、ポリアクリル酸アンモニウムを使用した。図7にポリアクリル酸アンモニウムを用いた場合の二酸化珪素膜の研磨レートを示した。横軸はポリアクリル酸アンモニウムの添加量を固形分重量％で示し、縦軸は研磨レートの相対値を示している。最適な添加量は砥石の種類（砥粒、粒径、結合剤樹脂種類、気孔径）およびポリアクリル酸アンモニウムの分子量にも依存するが、0.05重量％から5重量％の間にある。固形分重量比1％で分子量1万のポリアクリル酸アンモニウムの添加により二酸化珪素膜の研磨レートは無添加時に比べ10倍程度増加する。

~~{0025}~~

ポリアクリル酸アンモニウムは、分子量によっても研磨レート向上効果が現れる添加量が異なる。図7の黒点が、分子量約1万で低粘度なポリアクリル酸アンモニウムを添加した時の研磨レートで、白点が分子量約14万の高粘度なポリアクリル酸アンモニウムを添加した時の研磨レートである。何れの分子量においても一定の効果は得られるが、分子量1万の場合が研磨レート向上効果のある濃度範囲が広く好ましい。また取り扱い性の面からも、低粘度となる分子量が低いものが好ましい。ただし分子量が百以下では吸着性が低下するため、分子量は100以上が適している。また分子量が20万以上では、増粘し凝集効果が現れるため20万以下が良い。このため適した分子量範囲は、100以上、20万以下である。特に、分散効果の高い3000以上、4万以下の分子量範囲が最も適している。

~~{0026}~~

図8には、ポリアクリル酸アンモニウムを用いた場合の、二酸化珪素（SiO<sub>2</sub>）膜および窒化珪素（Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>）膜の研磨レート及び前者を後者で除算した選択比を示した。分散剤の添加で二酸化珪素膜の研磨レートが向上すること、同時に窒化珪素膜の研磨レートが急減すること、の2つの効果によって、20を超える高い研磨レート選択比が得られた。高選択比を得るためには固形分重量比1％以上の添加が有効であった。選択比が高ければ、研磨レートが遅い膜をストッパー膜に利用して所望の研磨量を得ることが容易になり、ウエハ面内の加工量均

一性の向上も容易になる。

~~【0027】~~

添加剤の濃度を加工中に切りかえることで、より生産性を高めることも可能となる。ポリアクリル酸アンモニウムの場合、図8の条件では、最も研磨レートが高い濃度が0.5%、最も選択比が高い濃度が2%であり、両者に差がある。このため、高い研磨レートを必要とする加工初期に0.5%で研磨し、研磨終了に近い時間には2%に濃度を切りかえることで選択比を向上させストッパー膜を利用し、研磨量均一性と研磨終点の制御性を得ることができる。

~~【0028】~~

また、被加工膜が1種の場合であっても、分散剤の添加は次に説明するように加工量の均一性を向上させた。図9には分散剤としてポリアクリル酸アンモニウムを添加した場合と、添加なしの場合について、二酸化珪素膜の研磨レートのウエハ面内分布を比較した図を示す。横軸はウエハ直径上の面内位置を表し、縦軸は研磨レートを表す。添加なしの場合にウエハ周辺が過研磨となり均一性が悪かったものが、分散剤を添加するとウエハ周辺付近に至るまでウエハ面内ではほぼ均一な研磨量分布を得られた。

~~【0029】~~

本実施例においては、砥石を構成する砥粒には二酸化珪素膜の加工に適し、分散剤の添加で窒化珪素膜との高い選択比を得られる酸化セリウム砥粒を用いた。これを樹脂によって微細な気孔を形成しつつ固定化して砥石とした。砥粒の純度は最低99.9%以上で、半導体に有害なアルカリ金属類やハロゲン類の含有量は数ppm以下である。また、通常よりも一桁以上微細な砥粒を使用することで、肉眼では観察不可能なほど微細だが半導体には有害な、マイクロスクラッチ等の欠陥発生を防止している。砥粒の粒径は平均が0.2~0.3 $\mu$ mで、全数の内99%以上が最大粒径1 $\mu$ m以下である。微細砥粒を用いることに起因する砥粒凝集や研磨レートの低下は分散剤を添加することで抑制される。その結果、欠陥を抑制しつつ高い平坦化能力と高い研磨レート、高選択比の両立が可能であった。

~~【0030】~~

続いて、上記の装置と最適化した加工条件を適用した半導体装置の製造工程について、~~図10Aから図10Dまで~~、図10を用いて説明する。ここでは、素子分離工程に本発明を適用した実施例を示す。図10~~A~~(a)は薄い熱酸化膜44と窒化珪素膜41を堆積した後、ドライエッチングにより上部の膜と共に下地のシリコン基板まで浅溝40を形成した段階である。後に素子を形成するアクティブ領域43は、窒化膜41により保護している。その後~~図10B~~(b)に示すようにCVD法により絶縁膜2を溝内に埋めこんだ。ここで上記本発明を適用し、図10~~B~~(b)中の9の位置まで平坦化し、窒化珪素膜41を完全に露出させると共に浅溝40以外の余分な絶縁膜を除去し、図10~~C~~(c)の状態となった。本実施例では、~~図10C~~(c)の段階でウエハ面内至るところで窒化珪素膜41を完全に露出させ、絶縁膜2は浅溝内のみに所定量だけ残すことが出来た。その後の工程で、~~図10D~~(d)に示すように窒化珪素膜41を除去した部分にトランジスタ42等の素子を形成するが、これら素子の特性を劣化させないために、~~図10C~~(c)では窒化珪素膜41と浅溝内の絶縁膜2の残膜厚は非常に厳しい基準で管理する必要がある。従来技術では、図4~~A~~、図5~~C~~で説明した様に、この基準を満たすため反転マスクを用いたリソグラフィーとドライエッチングの工程を必要としたが、本発明を適用した結果、これらの工程を省略しても基準を満たすことが出来た。この理由は、砥石を用いて高い平坦化性能が得られたことと、高い研磨レート選択比により窒化珪素膜が研磨ストッパーの役割を果たし均一性が向上したこと、および終点加工マージンの確保が可能になったこと、による。

~~10031]~~

この他、従来技術の項で説明した配線層間の絶縁膜の平坦化工程においても本発明を適用可能である。

~~10032]~~

~~【発明の効果】~~

本発明により得られる効果について、主なものである選択比向上と、そこから派生する効果、その他の効果に分けて以下に説明する。

~~10033]~~

まず選択比の向上効果について説明する。図8に示すようにポリアクリル酸ア

ンモニウムと酸化セリウム砥粒を用いた砥石の組み合わせは、二酸化珪素膜と窒化珪素膜の研磨レート選択比を著しく向上させる。添加剤なしで3以下の選択比が添加剤によって20以上となる。これは窒化珪素膜が二酸化珪素膜に比べ20倍以上削れにくいことを意味し、窒化膜を研磨ストッパーとして利用できる。窒化膜のストッパー効果があるために、過剰研磨（オーバー研磨）を行うことで均一性を向上できる。研磨の遅れている部分も含め、窒化珪素膜の表面より上方にあるウエハ面上の全ての二酸化珪素膜を研磨除去しても、なお窒化珪素膜の残膜を十分確保できるからである。さらに平坦化性能に優れた砥石と組み合わせるため、オーバー研磨中にも素子分離の浅溝部でディッシングと呼ぶ皿状の過剰研磨が発生しない。このことは、平坦化性能に優れるが均一性が課題であった砥石の欠点を補い、平坦化性能と均一性の両立が可能となることを意味する。高度な平坦化と均一性の両立は砥石と分散剤を組み合わせることで初めて得られた効果である。また、窒化膜の研磨レートが極めて低いため、オーバー研磨時間はある程度幅を持たせても良く、加工終点を時間管理するマージンが拡大する効果がある。

#### ~~{0034}~~

分散剤の添加により選択比が変化する理由は、分散剤分子が膜種の違いにより選択吸着するためと考えられる（1999 Symposium on VLSI Tech., B-3）。例えば界面活性剤型の分散剤の場合、親水基と疎水基の両方を持ち、親水基が加工液側を向き、疎水基が膜側に吸着して両者の界面に存在する。疎水基の性質により膜表面への吸着力が異なるため、異種膜が混在する状況下では一般に膜により分散剤の吸着量は異なる。分散剤がポリアクリル酸アンモニウムのような高分子である場合、吸着した1分子の長さが非常に長いいため、界面に高分子の厚みをもった膜が形成され、分子の吸着が研磨を妨げる場合がある。従ってこれら分散剤の添加により膜毎の研磨選択比が変化する。ポリアクリル酸アンモニウムに限らず、界面活性剤型の分散剤、また高分子の分散剤、表面ゼータ電位を変化させ吸着状態を変える酸・アルカリなどの分散剤においても選択比を変化させることが可能である。

#### ~~{0035}~~



上述した選択比向上がもたらす平坦化性能と均一性の両立によって、近年問題となっているウエハ基板のナノトポロジによる悪影響を回避できる。ナノトポロジはシリコン基板自体がもつ周期数 $\text{mm} \sim \text{cm}$ 、振幅数十 $\sim$ 数百 $\text{nm}$ の基板の凹凸である（超精密ウェーハ表面制御技術、第2節）。この凹凸は周期が比較的長く振幅も微小なため、従来の規格上は問題とならなかった。しかし高精度な平坦化が必要となる浅溝素子分離工程の研磨においては、ナノトポロジが研磨量に転写されて均一性が悪化する。対策として、ナノトポロジの低減を組み入れた規格を設定することは可能だが基板コストが増加する。本発明を適用すれば、窒化珪素膜等をストッパーとすることでナノトポロジによる凹凸に関わらずストッパー膜上で研磨を停止させることができるため、均一性悪化を回避できる。

#### ~~10036~~

上述した異種膜が混在する条件だけでなく、図9に示した様に単独膜種のための研磨の場合であっても、分散剤の添加は均一性を向上させる効果がある。これは選択比向上ではなく、遊離砥粒数の安定増加という別のメカニズムによっている。これについては次に述べる。

#### ~~10037~~

以下、図11<sup>A</sup>を用いて分散剤の添加が遊離砥粒数を安定化させるメカニズムを説明する。図11<sup>A</sup>(a)(b)は各々、砥石の表面を断面方向から見た拡大模式図である。砥石は砥粒23、砥粒を結合する樹脂24、気孔26から構成される。砥粒はその状態によって、砥石中に固定された砥粒23（固定砥粒）と、砥石から加工液中へ遊離した砥粒27（遊離砥粒）に区別できる。図11<sup>A</sup>(a)は加工液に純水を用いた場合である。遊離砥粒の数は少なく、また他の遊離砥粒と凝集して凝集砥粒28となり易く、実効的な遊離砥粒数が少ない。

#### ~~10038~~

図11<sup>B</sup>(b)では、遊離砥粒の排出量を増加するため加工液に分散剤29が添加されている。例えば主な分散剤である陰イオン系界面活性剤タイプの分散剤では、分散剤分子は砥粒等の固体表面に吸着し、固体表面が負に帯電した状態を作る。この電荷により各砥粒間や砥粒と砥石の間に反発力が働くため、分散性が向

上する。界面活性剤は砥粒や砥石と加工液の界面だけに集中して存在するために、微量に添加するだけで効果が現れる。分散剤 29 の作用によって砥石表面からの砥粒の遊離が促進されることから、図 11 <sup>A</sup> (a) の場合に比べ遊離砥粒 27 の絶対数が増加する。また分散剤によって砥粒同士が凝集しにくくなるため、加工に関与する遊離砥粒の比表面積が増大する。砥粒比表面積の増大は、特に二酸化珪素膜を酸化セリウムで研磨する場合など、砥粒表面の化学反応が重要な場合に砥粒と被加工膜の反応を促進し、実効的な砥粒数を増加させる。

#### ~~【0039】~~

遊離砥粒濃度が低い場合、研磨レートは遊離砥粒濃度に大きく依存するため研磨レートが変動しやすい。これに対し本発明によって分散剤を添加し遊離砥粒濃度を十分に増加させることで、研磨レートの遊離砥粒濃度への依存性が小さい領域で加工を行える。このため研磨レートが安定化し、時間・空間的に砥粒濃度が変化しても研磨レートの変化幅が小さく抑制される。すなわち研磨の均一性・安定性が向上する。このメカニズムにより、図 9 のように単一種類の膜しか存在しない場合であっても研磨量均一性が向上する。

#### ~~【0040】~~

さらに、分散剤の多くは界面活性機能を持つため遊離砥粒が装置の内壁等に着しにくくなり、クリーンルームのパーティクル汚染の可能性を減少させる。また加工後のウェハ面への砥粒付着量も減少し、ウェハの洗浄負荷が軽減される。

#### ~~【0041】~~

最後に上述した選択比向上、研磨レート向上により得られる半導体製造プロセス上の効果について説明する。本発明が最も効果を得られる工程は実施例に記載した浅溝素子分離工程のように、異種膜が露出した時点が研磨終点となり、かつ高い平坦化能力を必要とする工程である。最終的に露出する膜をストッパーと出来るように適切な分散剤を選択することで、平坦化能力の高い砥石を用いつつ、所定の層にて均一性良く研磨を終了できる。

#### ~~【0042】~~

具体的には、実施例に記載した浅溝素子分離工程における反転マスクを利用したエッチバック工程（詳しくは、レジスト塗布、露光、ベーク、検査、エッチン

グ、アッシング、洗浄等少なくとも7工程からなる)の削減による製造TAT、コストの低減が挙げられる。さらに、窒化珪素膜のようなストッパー膜との選択比が十分高いためにストッパー膜の膜厚を薄く設計可能となる。これにより、膜応力の大きい窒化膜のようなストッパー膜であってもこれを薄膜化することで、応力起因の欠陥を低減できる。また、平坦化性能不足を補うために広い面積部に配置されるタイルパターンのようなダミーパターンも不要となり、設計自由度が増大する。

# 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

図1は、

✓ 砥石を用いた平坦化加工法および本発明の実施例の説明図である。

## 【図2】

図2Aから図2Cは、

✓ 平坦化を行わない場合の配線工程の説明図である。

## 【図3】

図3Aから図3Dは、

✓ 平坦化を行う場合の配線工程の説明図である。

## 【図4】

図4Aから図4Dは、

✓ 従来技術を用いた浅溝素子分離工程の説明図（前半）である。

## 【図5】

図5Aから図5Cは、

✓ 従来技術を用いた浅溝素子分離工程の説明図（後半）である。

## 【図6】

図6は、

✓ 化学機械研磨法（CMP）を説明する図である。

## 【図7】

図7は、

✓ 実施例における分散剤の研磨レート向上効果を示す図である。

## 【図8】

図8は、

✓ 実施例における分散剤の選択比向上効果を示す図である。

## 【図9】

図9は、

✓ 実施例における分散剤の研磨量均一性向上効果を示す図である。

## 【図10】

図10Aから図10Dは、

✓ 本発明を適用して簡素化した浅溝素子分離工程の説明図である。

## 【図11】